



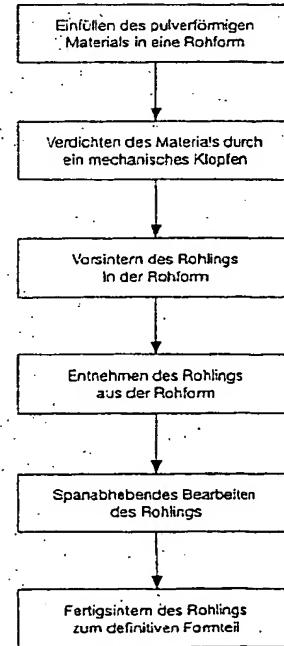
(21) Aktenzeichen: P 43 22 083.5  
 (22) Anmeldetag: 2. 7. 93  
 (43) Offenlegungstag: 12. 1. 95

(11) Anmelder:  
 ABB Research Ltd., Zürich, CH  
 (14) Vortreter:  
 Rüpprecht, K., Dipl.-Ing., Pat.-Anw., 61476 Kronberg

(72) Erfinder:  
 Fried, Reinhard, Nussbaumen, CH; Ernst, Peter, Dr.,  
 Niederglatt, CH  
 (56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit,  
 in Betracht zu ziehende Druckschriften:  
 SU 11 29 028 A

(M) Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material

(11) Dieses Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material umfaßt die folgenden Verfahrensschritte:  
 a) Einfüllen des pulverförmigen Materials in eine Rohform,  
 b) Verdichten des Materials durch ein mechanisches Klopfen,  
 c) Vorsintern des Rohlings in der Rohform,  
 d) Entnehmen des Rohlings aus der Rohform,  
 e) Spanabhebendes bearbeiten des Rohlings, und  
 f) Fertigsintern des Rohlings zum definitiven Formteil.  
 Das fertig gesinterte Formteil braucht nicht mehr nachgearbeitet zu werden. Bei diesem Verfahren wird der Einfluß des Uhrumpfens beim Fertigsintern vorteilhaft klein gehalten.



DE 43 22 083 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 11.94 408 062/282

14/28

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

Die Erfindung geht aus von einem Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material.

## Stand der Technik

Derartige Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material sind bekannt, sie werden insbesondere für die Herstellung von Formteilen aus keramischen oder metallischen Grundstoffen eingesetzt. Es ist durchaus möglich auch aus pulverförmigen Kunststoffen Formteile herzustellen. Die Grundstoffe werden entweder zusammen mit Bindern oder auch ohne Binder verarbeitet. Die Grundstoffe, die zusammen mit Bindern eingesetzt werden, werden beispielsweise mittels eines Schlickergieß- oder eines Spritzgießverfahrens zu Formteilen verarbeitet. Die binderlos zu verarbeitenden Grundstoffe werden in einer geeigneten Form mit oder ohne Druckbeaufschlagung zum Formteil gesintert. Die Druckbeaufschlagung kann, je nach Art des Grundstoffs, entweder als uniaxiales Pressen mit einem oder mehreren Preßstempeln oder als mehrachsiges Pressen mit zwei oder mehreren Preßstempeln erfolgen. Die Druckbeaufschlagung kann auch durch isostatisches Pressen im heißen oder kalten Zustand erfolgen.

Aus der US-Patentschrift 5,174,952 ist ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material bekannt, welches mittels zweier Sintervorgänge zum endgültigen Formteil gelangt. Mit diesem Verfahren lassen sich Formteile herstellen, die nur unbedeutende Wanddickenunterschiede aufweisen. Sobald nennenswerte Wanddickenunterschiede verlangt werden, bereitet es Schwierigkeiten, das von der Materialdicke abhängige Schrumpfverhalten zu beherrschen.

## Darstellung der Erfindung

Hier will die Erfindung Abhilfe schaffen. Die Erfindung, wie sie im unabhängigen Anspruch 1 gekennzeichnet ist, löst die Aufgabe, ein Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material anzugeben, bei welchem ein Nacharbeiten des fertig gesinterten Formteils nicht nötig ist.

Die durch die Erfindung erreichten Vorteile sind im wesentlichen darin zu sehen, daß der Einfluß des Schrumpfens beim Fertigsintern wesentlich verkleinert ist. Das Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material, weist die folgenden Verfahrensschritte auf:

- a) Einfüllen des pulverförmigen Materials in eine Rohform,
- b) Verdichten des Materials durch ein mechanisches Klopfen,
- c) Vorsintern des Rohlings in der Rohform,
- d) Entnehmen des Rohlings aus der Rohform,
- e) Spanabhebendes bearbeiten des Rohlings, und
- f) Fertigsintern des Rohlings zum definitiven Formteil.

Bei diesem Verfahren sind Vorsintertemperatur und Dauer des Vorsinterns so aufeinander abgestimmt sind,

daß ein Schrumpfen im Bereich von 0,2% bis 1% auftritt, wodurch ein vergleichsweise homogener, gut spanabhebend bearbeitbarer Rohling entsteht.

Besonders rasch lassen sich nach diesem Verfahren 5 Rohlinge herstellen, wenn das Stahlpulver in der Rohform während des gesamten Vorsinternvorgangs mittels mindestens eines Stempels mit Druck beaufschlägt wird.

Die spanabhebende Bearbeitung des Rohlings erfolgt 10 vorteilhaft mittels eines Hochgeschwindigkeitsfräsvorganges. Danach weist der Rohling gegenüber dem definitiven Formteil ein Übermaß auf, welches so ausgelegt ist, daß es gerade durch das beim Fertigsintern auftretende Schrumpfen des Rohlings vollständig aufgehoben wird. Beim Hochgeschwindigkeitsfräsvorgang an metallischen Rohlingen werden Schnittgeschwindigkeiten im Bereich von 300 bis 900 m/min eingehalten.

Der Rohling wird vor dem Fertigsintern auf einen Setter aufgelegt und zusammen mit diesem in den Sinterofen eingebracht. Dabei nimmt der Setter den Rohling formschlüssig auf und schrumpft beim Sintern gemeinsam und im gleichen Ausmaß wie der Rohling, so daß der Rohling stets besonders gut gegen Deformatio-nen abgestützt ist.

Der Rohling kann beim Vorsintern und/oder beim Fertigsintern mit Hilfe der Ofenatmosphäre chemisch beeinflußt werden, so daß eine besonders intensive Anpassung des Materials an die zu erwartenden Betriebsbedingungen möglich ist.

Eine weitere Verbesserung ergibt sich daraus, daß der Rohling nach dem Fertigsintern heiß-isostatisch gepräßt wird.

Ferner wirkt es sich vorteilhaft aus, daß das spanabhebende Bearbeiten des Rohlings bereits dann erfolgt, wenn der Rohling noch vergleichsweise einfach zu bearbeiten ist, da sein Gefüge noch nicht durch das abschließende Fertigsintern verfestigt ist. Dadurch können vergleichsweise hohe Schnittgeschwindigkeiten gewählt werden, was eine besonders gute Oberflächenqualität am bearbeiteten Rohling zur Folge hat.

Weitere Ausgestaltungen der Erfindung sind Gegenstände der abhängigen Ansprüche.

Die Erfindung, ihre Weiterbildung und die damit erzielbaren Vorteile werden nachstehend anhand der Zeichnung, welche lediglich einen möglichen Ausführungsweg darstellt, näher erläutert.

## Kurze Beschreibung der Zeichnung

Es zeigen:

Fig. 1 ein erstes Blockdiagramm eines erfindungs-  
mäßigen Verfahrens,

Fig. 1a ein zweites Blockdiagramm eines erfindungs-  
mäßigen Verfahrens,

Fig. 2 eine Draufsicht auf einen ersten, auf einem Set-  
ter liegenden, spanabhebend bearbeiteten Rohling,

Fig. 3 einen Schnitt durch die Anordnung gemäß  
Fig. 2,

Fig. 4 einen zweiten spanabhebend bearbeiteten  
Rohling,

Fig. 5 einen auf einem Setter liegenden, aus zwei  
Hälften zusammengesetzten Rohling, wobei die untere  
Hälfte dem Rohling aus Fig. 4 entspricht, und

Fig. 6 einen weiteren spanabhebend bearbeiteten Roh-  
ling.

Bei allen Figuren sind gleich wirkende Elemente mit  
gleichen Bezugszeichen versehen. Alle für das unmittel-  
bare Verständnis der Erfindung nicht erforderlichen

bis 1% auf  
gut spannen

Elemente sind nicht dargestellt.

### Wege zur Ausführung der Erfindung

Die Fig. 1 zeigt ein schematisch dargestelltes Blockdiagramm des Verfahrens zur Herstellung eines Formteils aus einem pulverförmigen Material. Dieses Verfahren weist die folgenden Verfahrensschritte auf:

- a) Einfüllen des pulverförmigen Materials in eine Rohform,
- b) Verdichten des Materials durch ein mechanisches Klopfen,
- c) Vorsintern des Rohlings in der Rohform,
- d) Entnehmen des Rohlings aus der Rohform,
- e) Spanabhebendes bearbeiten des Rohlings, und
- f) Fertigsintern des Rohlings zum definitiven Formteil.

Das pulverförmige Material wird nach einem der bekannten Verfahren hergestellt. Es wird drucklos in eine Rohform aus Metall oder Keramik eingefüllt. Die inneren Abmessungen dieser Rohform müssen denen des fertigen Formteils nur grob angenähert sein. So reicht es beispielsweise aus, eine Turbinenschaufel durch einen Quader anzunähern. Das in die Rohform eingefüllte pulverförmige Material wird durch ein mechanisches Klopfen verdichtet. Es ist jedoch vorstellbar, daß für das Verdichten auch andere Verfahren, wie beispielsweise ein Vibrieren oder ein Rütteln der Rohform mit verschiedenen Frequenzen, vorgesehen werden. Es wird dabei in der Regel eine Klopfdichte im Bereich von 60 bis 70% erreicht. Nach dem Verdichten folgt dann ein Vorsintervorgang, bei dem das Material in der Rohform zu einem Rohling zusammensintert. Beim Vorsintern wird das Material langsam und gleichmäßig auf die Vorsintertemperatur gebracht, dann kurze Zeit auf dieser Temperatur gehalten und anschließend langsam abgekühlt. Wird das Vorsintern sorgfältig durchgeführt, so wird dadurch ein Rohling geschaffen, der eine außerordentlich homogene Dichteverteilung und ein homogenes Gefüge aufweist. Ist der Rohling ein größerer Quader, so können aus ihm mehrere kleinere Quader als im nächsten Verfahrensschritt weiter zu verarbeitende Rohlinge herausgeschnitten werden.

Nach der Entnahme des Rohlings aus der Rohform wird er spanabhebend weiter bearbeitet, insbesondere eignet sich hierfür das Hochgeschwindigkeitsfräsen. Es ist jedoch auch möglich, konventionelle spanabhebende Bearbeitungsverfahren einzusetzen oder auch eine Kombination von konventionellen Bearbeitungsverfahren mit dem Hochgeschwindigkeitsfräsen. Bei einer Kombination wird das Hochgeschwindigkeitsfräsen vorteilhaft als letzter Bearbeitungsschritt eingesetzt, da so eine besonders gute Oberflächenqualität des Rohlings erreicht wird. Beim Hochgeschwindigkeitsfräsen von metallischen Rohlingen werden Schnittgeschwindigkeiten im Bereich von 300 bis 900 m/min eingehalten. Derartig hohe Schnittgeschwindigkeiten sind nur deshalb möglich, weil das Gefüge des Rohlings durch das Vorsintern zwar sehr homogen, aber in sich noch bedeutend weniger verfestigt ist als nach dem Fertigsintern. Die Bearbeitung kann so vorteilhaft rasch und preisgünstig erfolgen. Es ist davon auszugehen, daß dieser Rohling in einem Fünftel der Zeit fertig bearbeitet ist, die für die Bearbeitung eines entsprechenden massiven Stahlteiles aufgewendet werden müßte.

Wird eine besonders glatte Oberfläche des Rohlings

verlangt, wie beispielsweise bei Rohlingen für Turbinenschaufeln, so kann der Rohling nach der spanabhebenden Bearbeitung noch mit Glaskugeln gestraht werden, wodurch seine Oberflächenrauhigkeit weiter reduziert wird. Je nach Beschaffenheit des Rohlings kann auch ein anderes der bekannten Strahlverfahren angewendet werden. Auf diese Art wird zudem die Oberfläche des Rohlings verdichtet, was sich insbesondere bei Turbinenschaufeln vorteilhaft auswirkt.

Die mechanische Bearbeitung führt zu einem Rohling der sehr genau gefertigt ist, der jedoch noch ein poröses Gefüge aufweist. Die Dichteverteilung ist jedoch außerordentlich homogen, so daß mit einem gleichförmigen Sinterschrumpfen des Rohlings beim Fertigsintern gerechnet werden kann. Der Rohling wird also bei der mechanischen Bearbeitung mit Übermaß gefertigt, und zwar wird das Übermaß so ausgelegt, daß es, bedingt durch das Sinterschrumpfen, beim Fertigsintern gerade verschwindet. Unterschiedliche Materialdicken haben ein proportional zur Dicke zunehmendes Schrumpfen zur Folge, diese Unterschiede werden jedoch bei der Formgebung des Rohlings von Anfang an berücksichtigt, so daß das definitive Formteil unabhängig von der Materialdicke äußerst formgenau ist.

Der mechanisch fertig bearbeitete Rohling wird auf einen Setter gelegt, der so ausgebildet ist, daß er während des Fertigsinterns den Rohling stützt und ihn vor etwaigen Deformationen bewahrt. Als besonders günstig haben sich mitschrumpfende Setter erwiesen, die im gleichen Masse schrumpfen wie das Material des Rohlings. Derartige mitschrumpfende Setter sind besonders dort von Vorteil, wo Rohlinge mit vergleichsweise komplizierten Formen formschlüssig zu stützen sind.

Der Rohling wird dann gemeinsam mit dem Setter in einen Sinterofen eingebracht und dort dem Fertigsintervorgang unterworfen. Auch dabei wird der Temperaturanstieg bis zur Sintertemperatur, die Verweildauer bei dieser Temperatur und der nachfolgende Abkühlvorgang dem jeweiligen Material optimal angepaßt. Bei diesem Fertigsintervorgang kann das zu sinternde Material mit Hilfe der Ofenatmosphäre gleichzeitig chemisch beeinflußt werden. Dank der porösen Struktur des Rohlings bei Beginn des Fertigsinterns kann die Ofenatmosphäre bis in dessen Inneres einwirken, so daß eine ganze Palette von Einflußnahmen möglich ist. Wird eine stickstoffhaltige Ofenatmosphäre gewählt, so erfolgt ein Nitrieren des Rohlings und damit eine vorteilhafte Festigkeitserhöhung desselben. Eine kohlenstoffhaltige Ofenatmosphäre ermöglicht ein Aufkochen. Es bestehen viele Möglichkeiten des Gradierens. Mit Hilfe einer entsprechend dotierten Ofenatmosphäre kann auch bereits beim Vorsintern das zu sinternde Material chemisch beeinflußt werden. Es ist auch denkbar während des Vorsinterns eine andere Dotierung der Ofenatmosphäre zu wählen als während des Fertigsinterns.

### 1. Ausführungsbeispiel

Beim ersten Ausführungsbeispiel wird das pulverförmige Material in einen rechteckigen, nach oben offenen Behälter eingefüllt. Der Behälter weist Wände aus Stahlblech UST 37.2 auf. Als pulverförmiges Material ist ein X20CrMo-Stahlpulver der Firma Ultrafine Powder Technology, Bezeichnung UFP2, Lieferung 2, Lot Nr. 236 eingesetzt worden. Das Stahlpulver wies folgende Legierungsbestandteile auf:

Cr 11,6%  
Ni 0,47%

Mo 0,96%  
V 0,31%  
Nb 0,048%  
C 0,232%  
Si 0,43%  
Mn 0,65%  
W < 0,001%  
S 0,011%.

Dieses Stahlpulver wurde mittels eines Gasverdüsungsverfahrens hergestellt, seine Partikel weisen eine Größe bis 44 µm auf und sie sind sphärisch ausgebildet. Anschließend wird der Behälter 250mal mit einem senkrechten Klopfen beaufschlagt. Durch das Klopfen wird eine Klopfdichte des Stahlpulvers von 63% erreicht. Anschließend wird der Behälter mit dem verdichteten Stahlpulver in einen Vakuumsinterofen eingebracht und mit einer Stickstoffatmosphäre unter einem Druck von 10 mbar vorgesintert. Bei der Aufheizung erfolgt die Temperaturerhöhung in Stufen von 1°C bis maximal 10°C pro Minute. Sobald die Vorsintertemperatur von 930°C erreicht ist, wird diese Temperatur während des eine Stunde dauernden Vorsinterns beibehalten. Daran anschließend erfolgt das kontrollierte Abkühlen des beim Vorsintern entstandenen Rohlings, auch hierbei werden Stufen im Bereich von 0,25°C bis 10°C pro Minute eingehalten.

Die Vorsintertemperatur von 930°C, die während einer Stunde beibehalten wird, ermöglicht die Ausbildung von Halsbindungen zwischen den sphärischen Partikeln des Stahlpulvers, so daß innerhalb der Rohform ein quaderförmiger Rohling entsteht. Dabei tritt bereits ein erstes Schrumpfen auf, und zwar linear um etwa 1%. Ein Schrumpfen von 0,5% bis 1% führt zu besonders gut spanabhebend bearbeitbaren Rohlingen. Würde ein stärkeres Schrumpfen auftreten, so würde das Gefüge des Rohlings zu fest, so daß eine spanabhebende Bearbeitung erschwert würde.

Der quaderförmige Rohling weist jetzt eine Dichte von etwa 64% auf. Er wird aus der Rohform entnommen und in eine Fräsmaschine eingespannt und in dieser spanabhebend weiter bearbeitet. Diese als Hochgeschwindigkeitsfräsen bezeichnete Bearbeitung erfolgt mit vergleichsweise sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten im Bereich von 300 bis 900 m/min. Die gute und schnelle Bearbeitung des vorgesinterten Rohlings mit derartig hohen Schnittgeschwindigkeiten ist nur deshalb möglich, weil dabei lediglich die Halsbindungen zwischen den Partikeln des Stahlpulvers abgeschlagen werden, wodurch die aufzubringenden Zerspanungskräfte vergleichsweise gering gehalten werden können. Ein eigentliches Schneiden erfolgt bei diesem Verfahrensschritt nicht. Mit diesem Bearbeitungsverfahren kann eine Oberflächenrauhigkeit erreicht werden, die im Bereich des halben maximalen Durchmessers der Partikel des Stahlpulvers, also bei etwa 22 µm liegt. Für Turbinenschaufeln genügt diese Oberflächenqualität zum Beispiel nicht, so daß zusätzliche Bearbeitungsverfahren vorgesehen werden müssen, um die Oberflächenqualität zu verbessern, insbesondere würde sich da ein Kugelstrahlverfahren anbieten. Der Rohling wird durch dieses sehr genaue Hochgeschwindigkeitsfräsen allein oder zusammen mit etwaigen nachgeschalteten Bearbeitungsverfahren in eine Form gebracht, die der des definitiven Formteils sehr nahe kommt. Der Rohling weist jetzt gegenüber dem definitiven Formteil ein Übermaß auf, welches so ausgelegt ist, daß es gerade durch das beim Fertigsintern auftretende Schrumpfen des Rohlings vollständig aufgehoben wird.

Der spanabhebend fertig bearbeitete Rohling wird nun auf einen Setter aufgelegt, wie in den Fig. 2 und dargestellt. Als Rohling wird hier eine schematisch dargestellte Turbinenschaufel 1 gezeigt. Der im wesentlichen quaderförmig ausgebildete Setter 2 ist hier an seiner Oberfläche so gestaltet, daß er die Unterseite der aufgelegten Turbinenschaufel 1 formschlüssig abstützt. Der Setter 2 wird mit der daraufliegenden Turbinenschaufel 1 in den Sinterofen eingebracht und gemeinsam mit dieser dem Fertigsintern unterworfen. In diesem Fall ist das Material des Setters 2 so auf das der Turbinenschaufel 1 abgestimmt, daß es im gleichen Umfang schrumpft wie dieses. Während des gesamten Fertigsinternvorganges stützt der Setter 2 die Turbinenschaufel 1 ab und bewahrt sie vor Deformationen. Nach dem Fertigsintern wird der Setter 2 mit der Turbinenschaufel 1 aus dem Sinterofen entnommen. Die Turbinenschaufel 1 wird als fertiges, definitiv ausgebildetes Formteil vom Setter 2 gelöst.

Für das Fertigsintern wurde ein Vakuumsinterofen verwendet. Die Ofenatmosphäre setzte sich zusammen aus Stickstoffgas N<sub>2</sub> mit einer Dotierung von 10% CO<sub>2</sub>, der Druck im Ofen betrug 10 mbar. Die Sintertemperatur von 1320°C wurde bei diesem Ausführungsbeispiel kontinuierlich mit einer Rampe von 3°C/min erreicht. Die Sintertemperatur wurde während vier Stunden gehalten, das nachfolgende Abkühlen erfolgte kontinuierlich mit einer Rampe von 3°C/min bis herab zu 500°C und von da weiter mit einer Rampe von 10 °C/min bis herab auf die Raumtemperatur. Nach diesem Fertigsintern weist das Formteil, hier die Turbinenschaufel 1, eine Dichte von 96% auf, die für viele Anwendungen genügt.

Wird jedoch eine noch größere Dichte und Festigkeit gefordert, so kann das Formteil anschließend an das Fertigsintern, wie im Blockdiagramm gemäß Fig. 1a dargestellt, einer Behandlung mittels eines heiß-isostatischen Preßvorgangs unterworfen werden. Allerdings muß die damit verbundene nochmalige Reduktion der Abmessungen des Formteils bei der Festlegung des nach der spanabhebenden Bearbeitung erforderlichen Übermasses berücksichtigt werden. Das heiß-isostatische Pressen kann hier vorteilhaft ohne eine zusätzliche Preßhaut erfolgen, da die beim Fertigsintern erreichte Dichte ein Eintreten von Gasen in das Gefüge des Formteils nicht zuläßt. Das heiß-isostatische Pressen erfolgte bei einer Temperatur von 1150°C und einem Druck von 1200 bar. Nach diesem heiß-isostatischen Preßvorgang wurde eine Dichte der Turbinenschaufel 1 von 99,8% festgestellt.

Eine genaue Vermessung einer Reihe von Turbinenschaufeln 1 nach dem Fertigsintern zeigte im kritischen Bereich des konvex-konkaven Blattes der Turbinenschaufeln 1 mittlere Abweichungen von der Sollgeometrie von zwei Promille der maximalen Breite des Blattes und das Streuband aller Abweichungen war kleiner als ein Promille der maximalen Breite des Blattes.

## 2. Ausführungsbeispiel

Ein zweites Ausführungsbeispiel ist in der Fig. 4 dargestellt. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird das pulverförmige Material in einen halbzylinderförmigen, nach oben offenen Behälter eingefüllt. Der Behälter weist Wände aus Stahlblech UST 37.2 auf. Als pulverförmiges Material ist ein Stahlpulver NiCr 30 20 der Firma Hermann Stark, Berlin, Werkstoff Nr. 14 860, DIN 17 470 eingesetzt worden. Dieses Stahlpulver wurde mittels eines Gasverdüsungsverfahrens hergestellt, sei-

ne Partikel weisen eine Größe bis 35 µm auf und sie sind sphärisch ausgebildet. Anschließend wird der Behälter 500mal mit einem senkrechten Klopfen beaufschlagt. Durch das Klopfen wird eine Klopfdichte des Stahlpulvers von 62% erreicht. Anschließend wird der Behälter mit dem verdichteten Stahlpulver in einen Vakuumsinterofen eingebracht und mit einer Stickstoffatmosphäre unter einem Druck von  $10^{-2}$  mbar vorgesintert. Bei der Aufheizung erfolgt die Temperaturerhöhung kontinuierlich, dabei wurden Rampen von 1°C pro Minute eingestellt. Sobald die Vorsintertemperatur von 980°C erreicht ist, wird diese Temperatur während des eine halbe Stunde dauernden Vorsinterns beibehalten. Daran anschließend erfolgt das kontrollierte Abkühlen des beim Vorsintern entstandenen Rohlings, auch hierbei werden Rampen im Bereich von 1°C pro Minute eingehalten.

Die Vorsintertemperatur von 980°C, die während einer halben Stunde beibehalten wird, ermöglicht die Ausbildung von Halsbindungen zwischen den sphärischen Partikeln des Stahlpulvers, so daß innerhalb der Rohform ein halbzylinderförmiger Rohling entsteht. Dabei tritt bereits ein erstes Schrumpfen auf, und zwar linear um etwa 0,5%. Ein Schrumpfen von 0,5% führt hier zu besonders gut spanabhebend bearbeitbaren Rohlingen. Würde ein stärkeres Schrumpfen auftreten, so würde das Gefüge des Rohlings zu fest, so daß eine spanabhebende Bearbeitung erschwert würde.

Der halbzylinderförmige Rohling weist jetzt eine Dichte von etwa 63,5% auf. Er wird aus der Rohform entnommen und in eine Fräsmaschine eingespannt und in dieser spanabhebend weiter bearbeitet. Diese als Hochgeschwindigkeitsfräsen bezeichnete Bearbeitung erfolgt mit vergleichsweise sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten im Bereich um 300 m/min. Die gute und schnelle Bearbeitung des vorgesinterten Rohlings mit derartig hohen Schnittgeschwindigkeiten ist nur deshalb möglich, weil dabei lediglich die Halsbindungen zwischen den Partikeln des Stahlpulvers abgeschlagen werden, wodurch die aufzubringenden Zerspanungs Kräfte vergleichsweise gering gehalten werden können. Ein eigentliches Schneiden erfolgt bei diesem Verfahrensschritt nicht. Mit diesem Bearbeitungsverfahren kann eine Oberflächenrauhigkeit erreicht werden, die im Bereich des halben maximalen Durchmessers der Partikel des Stahlpulvers, also bei etwa 17 µm liegt. Der Rohling wird durch dieses sehr genaue Hochgeschwindigkeitsfräsen allein oder zusammen mit etwaigen nachgeschalteten Bearbeitungsverfahren in eine Form gebracht, die der des definitiven Formteils sehr nahe kommt. Der Rohling weist jetzt gegenüber dem definitiven Formteil ein Übermaß auf, welches so ausgelegt ist, daß es gerade durch das beim Fertigsintern auftretende Schrumpfen des Rohlings vollständig aufgehoben wird.

Der Rohling ist als der eine Teil 3 eines zylindrischen, in Fig. 5 schematisch dargestellten Rohres 4 ausgebildet. Das Rohr 4 ist als ein Bestandteil eines fluidgekühlten Kühlrohrsystems vorgesehen und weist im Innern gegeneinander versetzte Prallwände 5, 6 auf, die eine gute Verwirbelung des Fluids im Rohr 4 gewährleisten sollen. Der Teil 3 weist abgestuft ausgebildete Fügeflächen 7a, 7b, 7c, 7d auf, die für die Aufnahme des zweiten Teils 8 des Rohres 4, wie in Fig. 5 dargestellt, ausgebildet sind. Der zweite Teil 8 weist an den dem ersten Teil 3 entsprechenden Stellen ebenfalls Prallwände 5, 6 auf. In Fig. 5 wird gezeigt, wie der spanabhebend fertig bearbeitete Rohling, hier der Teil 3, in einen Setter 2 eingelegt ist, der ihn formschlüssig abstützt. Der Teil 8, eben-

falls ein spanabhebend fertig bearbeiteter Rohling, wird passend auf die Fügeflächen 7a, 7b, 7c, 7d aufgelegt. Die Fügeflächen 7a, 7b, 7c, 7d werden vor dem Auflegen in der Regel dünn mit dem Ausgangsmaterial, hier mit dem Stahlpulver NiCr 30 20, bestäubt. Um eine gute, fugenlose Sinterverbindung zu erreichen, wird hier besonders feines Stahlpulver NiCr 30 20 mit einer Partikelgröße von < 10 µm verwendet. Der Teil 8 kann durch eine zusätzliche Abstützung 9 vor einem Deformieren geschützt werden. Die Ausgestaltung der Abstützung 9 wird den jeweiligen Bedingungen angepaßt. Der Setter 2 wird mit dem daraufliegenden Rohr 4 in den Sinterofen eingebracht und gemeinsam mit diesem dem Fertigsintern unterworfen. In diesem Fall ist das Material des Setters 2 und auch das der Abstützung 9 so auf das des Rohres 4 abgestimmt, daß es im gleichen Umfang schrumpft wie dieses. Während des gesamten Fertigsinternvorganges stützt der Setter 2 zusammen mit der Abstützung 9 das Rohr 4 ab und bewahrt es vor Deformationen. Nach dem Fertigsintern wird der Setter 2 mit dem nun aus den beiden Teilen 3 und 8 fügenlos zusammengesinterten Rohr 4 aus dem Sinterofen entnommen. Das Rohr 4 wird als fertiges, definitiv ausgebildetes Formteil vom Setter 2 und von der Abstützung 9 gelöst.

Für das Fertigsintern wurde ein Vakuumsinterofen verwendet, der vor dem Aufheizen mit Argongas gespült wurde. Der Druck im Ofen betrug  $10^{-2}$  mbar. Eine erste Sintertemperatur von 950°C wurde bei diesem Ausführungsbeispiel in Stufen von 5°C/min erreicht, und wurde während 15 Minuten gehalten. Danach wurde die Ofentemperatur in Stufen von 1,5°C/min weiter gesteigert bis zur eigentlichen Sintertemperatur von 1250°C, die während vier Stunden gehalten wurde. Das folgende Abkühlen erfolgte in Stufen von 5°C/min bis auf die Raumtemperatur. Nach diesem Fertigsintern weist das Formteil, hier das Rohr 4, eine Dichte von 95% auf, die für viele Anwendungen genügt.

Wird jedoch eine noch größere Dichte und Festigkeit gefordert, so kann das Formteil anschließend an das Fertigsintern, wie im Blockdiagramm gemäß Fig. 1a dargestellt, einer Behandlung mittels eines heiß-isostatischen Preßvorgangs unterworfen werden. Allerdings muß die damit verbundene nochmalige Reduktion der Abmessungen des Formteils bei der Festlegung des nach der spanabhebenden Bearbeitung erforderlichen Übermasses berücksichtigt werden. Das heiß-isostatische Pressen kann hier vorteilhaft ohne eine zusätzliche Preßhaut erfolgen, da die beim Fertigsintern erreichte Dichte ein Eintreten von Gasen in das Gefüge des Formteils nicht zuläßt. Das heiß-isostatische Pressen erfolgte bei einer Temperatur von 1100°C und einem Druck von 1500 bar. Nach diesem eine Stunde dauernden heiß-isostatischen Preßvorgang wurde eine Dichte des Rohres 4 von 99,9% festgestellt. Es wurde bei diesem Ausführungsbeispiel eine Genauigkeit von 0,2% des Rohrdurchmessers erreicht.

### 3. Ausführungsbeispiel

Bei diesem Ausführungsbeispiel wird das pulverförmige Material in einen rechteckigen, nach oben offenen Behälter mit leicht konisch verlaufenden Wänden eingefüllt. Der Behälter weist Wände aus reinem Aluminiumoxid  $\text{Al}_2\text{O}_3$  auf, die mit einer Trennschicht aus Zirkonoxid beschichtet sind. Als pulverförmiges Material ist ein X20CrMo V 12,1-Stahlpulver der Firma Anval, Anval 9156 — APM 9929, nach DIN 17 175, 17 225, 17 243 eingesetzt worden. Das Stahlpulver wies folgende Le-

gierungsbestandteile auf:  
C 0,22%  
Si 0,32%  
Mn 0,57%  
P 0,012%  
S 0,010%  
Cr 12,1%  
Ni 0,66%  
Mo 1,13%  
Ti 0,003%  
Nb 0,10%  
V 0,31%  
W 0,01%

Dieses Stahlpulver wurde mittels eines Gasverdampfungsverfahrens hergestellt, seine Partikel weisen eine Größe bis 63 µm auf und sie sind sphärisch ausgebildet. Anschließend wird der Behälter 200 mal mit einem senkrechten Klopfen beaufschlagt. Durch das Klopfen wird eine Klopfdichte des Stahlpulvers von 65% erreicht. Anschließend wird der Behälter mit dem verdichten Stahlpulver in einen evakuierbaren Raum eingebracht und induktiv aufgeheizt. Während des Aufheizens, während des Vorsinterns und während des Abkühlens wurde der Behälterinhalt mittels eines Stempels mit einem Druck von 50 N/mm<sup>2</sup> beaufschlagt. Die Aufheizung erfolgt induktiv während 15 Minuten. Sobald die Vorsintertemperatur von 1000°C erreicht ist, wird diese Temperatur während des 45 Minuten dauernden Vorsinterns beibehalten. Daran anschließend erfolgt das 90 Minuten dauernde Abkühlen des beim Vorsintern entstandenen Rohlings, mit der Hilfe von unter 2 bar stehendem Kühlgas.

Beim Vorsintern wird die Ausbildung von Halsbindungen zwischen den sphärischen Partikeln des Stahlpulvers ermöglicht, so daß innerhalb der Rohform ein quaderförmiger Rohling entsteht. Der Rohling ist in der Länge und in der Breite nicht geschrumpft, er weist jedoch in der Preßrichtung eine um 5% kleinere Höhe auf. Auf diese Art erhält man besonders gut spanabhebend bearbeitbare Rohlinge. Würde ein stärkeres Pressen angewendet, so würde das Gefüge des Rohlings zu fest, so daß eine spanabhebende Bearbeitung erschwert würde. Der quaderförmige Rohling weist jetzt eine Dichte von etwa 70% auf. Die Dichteverteilung über den gesamten Querschnitt des Rohlings ist sehr gleichmäßig. Durch das Heißpressen werden mit großer Sicherheit Spannungsrisse in dem vergleichsweise schnell aufgeheizten und schnell abgekühlten Rohling vermieden. Durch dieses Verfahren lassen sich die Vorsinterzylinder vorteilhaft kurz halten.

Der Rohling wird aus der Rohform entnommen und in eine Fräsmaschine eingespannt und in dieser spanabhebend weiter bearbeitet. Diese als Hochgeschwindigkeitsfräsen bezeichnete Bearbeitung erfolgt mit vergleichsweise hohen Schnittgeschwindigkeiten im Bereich von 500 m/min. Die gute und schnelle Bearbeitung des vorgesinterten Rohlings mit derart hohen Schnittgeschwindigkeiten ist nur deshalb möglich, weil dabei lediglich die Halsbindungen zwischen den Partikeln des Stahlpulvers abgeschlagen werden, wodurch die aufzubringenden Zerspanungskräfte vergleichsweise gering gehalten werden können. Ein eigentliches Schneiden erfolgt bei diesem Verfahrensschritt nicht. Mit diesem Bearbeitungsverfahren kann eine Oberflächenrauhigkeit erreicht werden, die im Bereich des halben maximalen Durchmessers der Partikel des Stahlpulvers, also bei etwa 31 µm liegt. Es können zusätzliche Bearbeitungsverfahren vorgesehen werden, um die Oberflächenqua-

lität zu verbessern, insbesondere würde sich da ein Röntgenstrahlverfahren anbieten. Hier wurden Glaskugeln mit einem Durchmesser von 200 µm bei einem Strahldruck von 3 bar verwendet. Dieses Vorverdichten der Randzonen des spanabhebend bearbeiteten Rohlings zwecks Reduzierung der Oberflächenrauhigkeit hat keinen Einfluß auf das nach dem Fertigsintern erreichbare Endmaß des definitiven Formlings, da das so vorverdichtete Volumen beim Fertigsintern entsprechend weniger schrumpft.

Der Rohling wird durch dieses sehr genaue Hochgeschwindigkeitsfräsen allein oder zusammen mit etwigen nachgeschalteten Bearbeitungsverfahren in eine Form gebracht, die der des definitiven Formteils sehr nahe kommt. Der Rohling weist jetzt gegenüber dem definitiven Formteil ein Übermaß auf, welches so ausgelagert ist, daß es gerade durch das beim Fertigsintern auftretende Schrumpfen des Rohlings vollständig aufgehoben wird.

Als Rohling wird hier in Fig. 6 ein durchbrochener Quader 10 schematisch dargestellt. Der spanabhebend fertig bearbeitete Rohling wird nun auf einen Setter aufgelegt. Der Setter ist im wesentlichen quaderförmig ausgebildet. Die Durchbrüche des Quaders 10 werden ebenfalls mit Setterstücken abgestützt. Der Setter wird mit dem daraufliegenden Quader 10 in den Sinterofen eingebracht und gemeinsam mit diesem dem Fertigsintern unterworfen. In diesem Fall ist das Material des Setters und der Setterstücke so auf das des Quaders 10 abgestimmt, daß es im gleichen Umfang schrumpft wie dieses. Während des gesamten Fertigsintervorganges stützt der Setter und die Setterstücke den Quader 10 ab und bewahrt ihn vor Deformationen. Nach dem Fertigsintern wird die Anordnung aus dem Sinterofen entnommen: Der Quader 10 wird als fertiges, definitiv ausgebildetes Formteil vom Setter und den Setterstücken gelöst.

Für das Fertigsintern wurde ein Vakuumsinterofen verwendet. Die Ofenatmosphäre setzte sich zusammen aus Stickstoffgas N<sub>2</sub> mit einer Dotierung von 5% CO<sub>2</sub>, der Druck im Ofen betrug 100 mbar. Die Sintertemperatur von 1360°C wurde bei diesem Ausführungsbeispiel in Stufen von 5°C/min erreicht. Die Sintertemperatur wurde während drei Stunden gehalten, das folgende Abkühlen erfolgte in Stufen von 5°C/min bis herab auf die Raumtemperatur. Nach diesem Fertigsintern weist das Formteil, hier der Quader 10, eine Dichte von 98% auf, die für viele Anwendungen genügt.

Wird jedoch eine noch größere Dichte und Festigkeit gefordert, so kann das Formteil anschließend an das Fertigsintern, wie im Blockdiagramm gemäß Fig. 1a dargestellt, einer Behandlung mittels eines heiß-isostatischen Preßvorgangs unterworfen werden.

Allerdings muß die damit verbundene nochmalige Reduktion der Abmessungen des Formteils bei der Festlegung des nach der spanabhebenden Bearbeitung erforderlichen Übermasses berücksichtigt werden. Das heiß-isostatische Pressen könnte hier vorteilhaft ohne eine zusätzliche Preßhaut erfolgen, da die beim Fertigsintern erreichte Dichte ein Eintreten von Gasen in das Gefüge des Formteils nicht zuläßt.

Binderlos vorgesintertes Stahlpulver kann in Verbindung mit dem Hochgeschwindigkeitsfräsen vorteilhaft eingesetzt werden, um Formteile mit hohen Genauigkeitsansprüchen herzustellen. Die erreichbaren Toleranzbandbreiten liegen im promillebereich, während mit der konventionellen Sintertechnik lediglich Toleranzbandbreiten im Bereich von 0,5% bis 1% zu erreichen sind.

## Bezugszeichenliste

- 1 Turbinenschaufel  
 2 Setter  
 3 Teil  
 4 Rohr  
 5, 6 Prallwände  
 7a, 7b, 7c, 7d Fügeflächen  
 8 Teil  
 9 Abstützung  
 10 Quader

5

10

beim Fertigsintern mit Hilfe der Ofenatmosphäre chemisch beeinflußt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
 — daß der Rohling nach dem Fertigsintern heiß-isostatisch gepreßt wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung eines Formteils aus 15 einem pulverförmigen Material, welches die folgenden Verfahrensschritte aufweist:

- a) Einfüllen des pulverförmigen Materials in eine Rohrform,
- b) Verdichten des Materials durch ein mechanisches Klopfen,
- c) Vorsintern des Rohlings in der Rohrform,
- d) Entnehmen des Rohlings aus der Rohrform,
- e) Spanabhebendes bearbeiten des Rohlings, und
- f) Fertigsintern des Rohlings zum definitiven Formteil.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- daß Vorsintertemperatur und Dauer des 30 Vorsinterns so aufeinander abgestimmt sind, daß ein Schrumpfen im Bereich von 0,2% bis 1% auftritt.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet,

- daß der Rohling während des Vorsinterns mittels mindestens eines Stempels mit Druck beaufschlagt wird.

35

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- daß die spanabhebende Bearbeitung des Rohlings mittels eines Hochgeschwindigkeitsfräsvorganges erfolgt, und
- daß der Rohling nach dem Hochgeschwindigkeitsfräsen gegenüber dem definitiven 45 Formteil ein Übermaß aufweist, welches so ausgelegt ist, daß es gerade durch das beim Fertigsintern auf tretende Schrumpfen des Rohlings vollständig aufgehoben wird.

40

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

- daß beim Hochgeschwindigkeitsfräsvorgang an metallischen Rohlingen Schnittgeschwindigkeiten im Bereich von 300 bis 900 m/min eingehalten werden.

55

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet,

- daß der Rohling vor dem Fertigsintern auf einen Setter aufgelegt und zusammen mit diesem in den Sinterofen eingebracht wird.

60

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

- daß der Setter den Rohling formschlüssig aufnimmt und beim Sintern gemeinsam und im gleichen Ausmaß schrumpft wie der Rohling.

65

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet,

- daß der Rohling beim Vorsintern und/oder

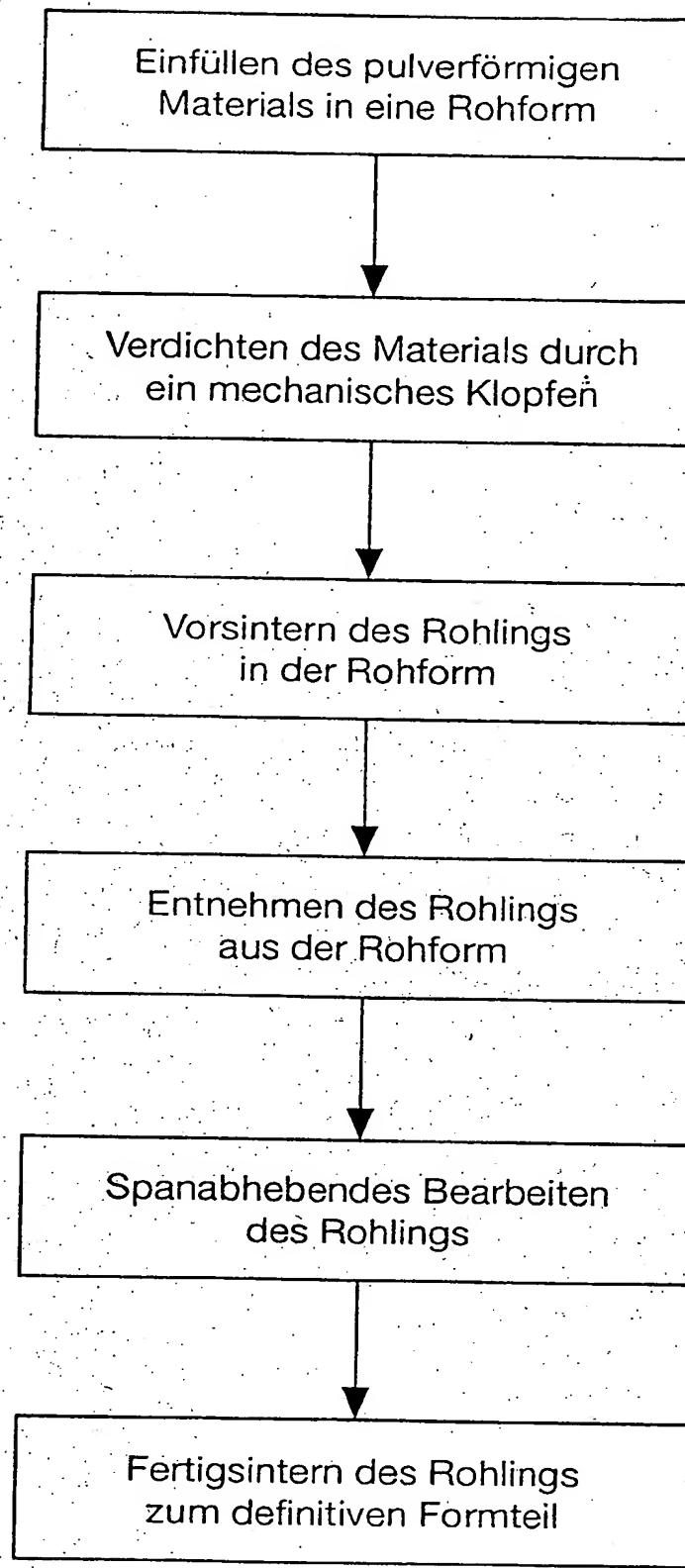


FIG. 1

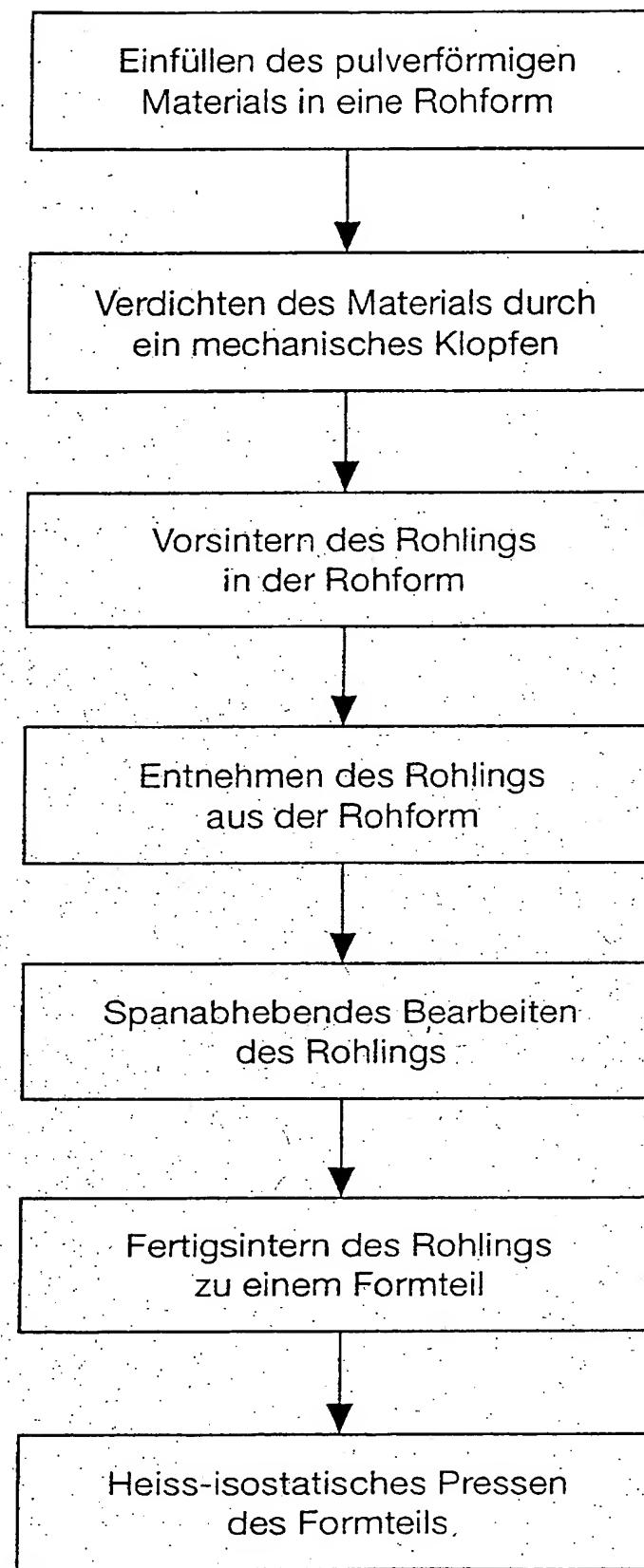
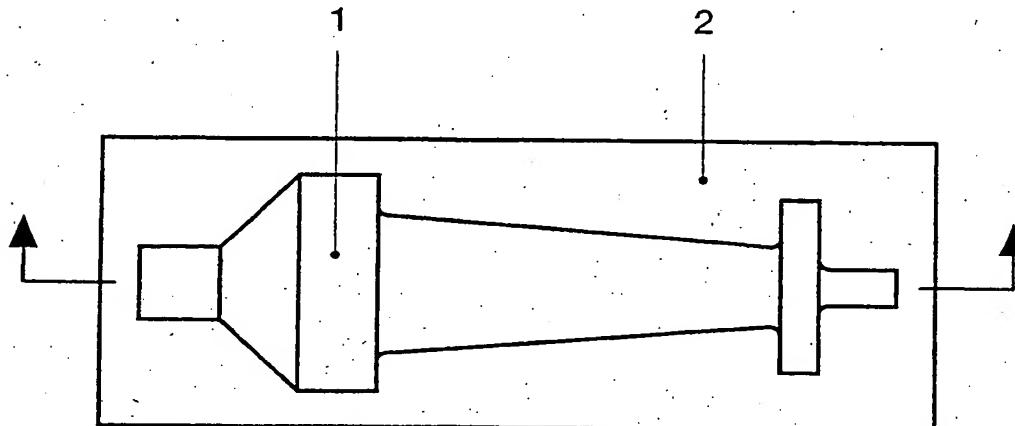
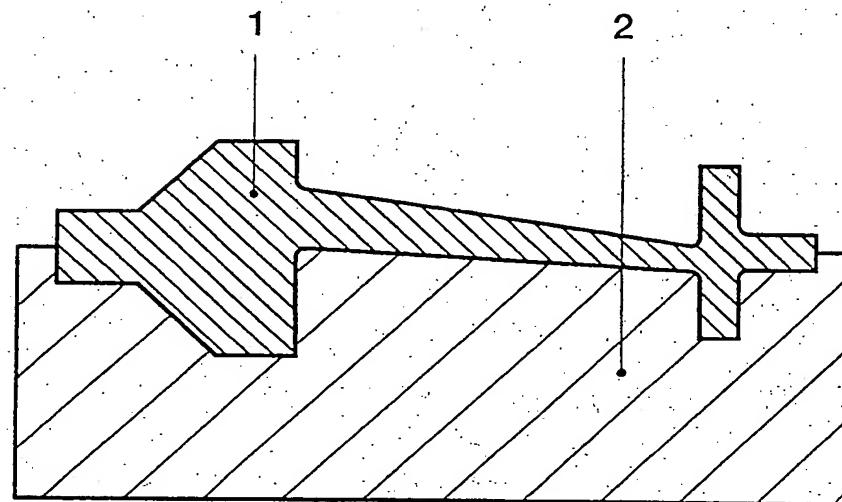
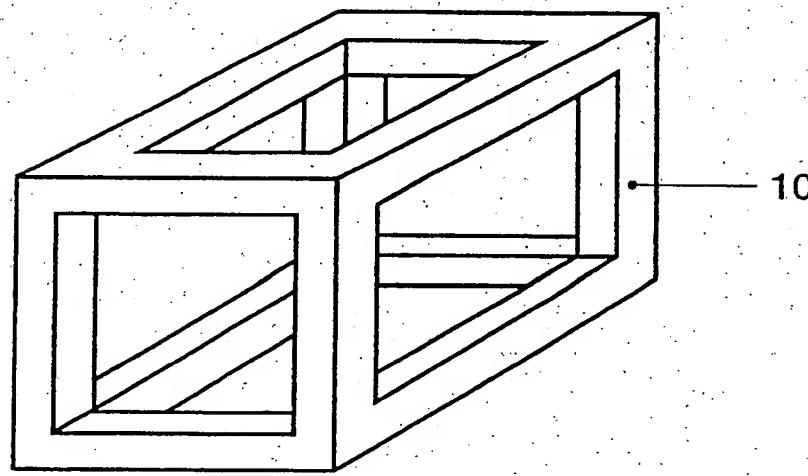


FIG. 1a

**FIG. 2****FIG. 3****FIG. 6**

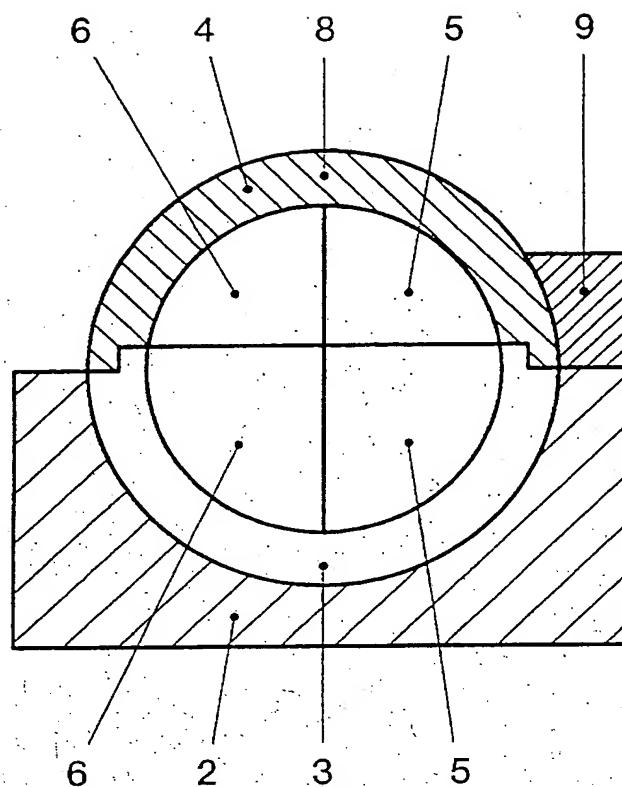


FIG. 5

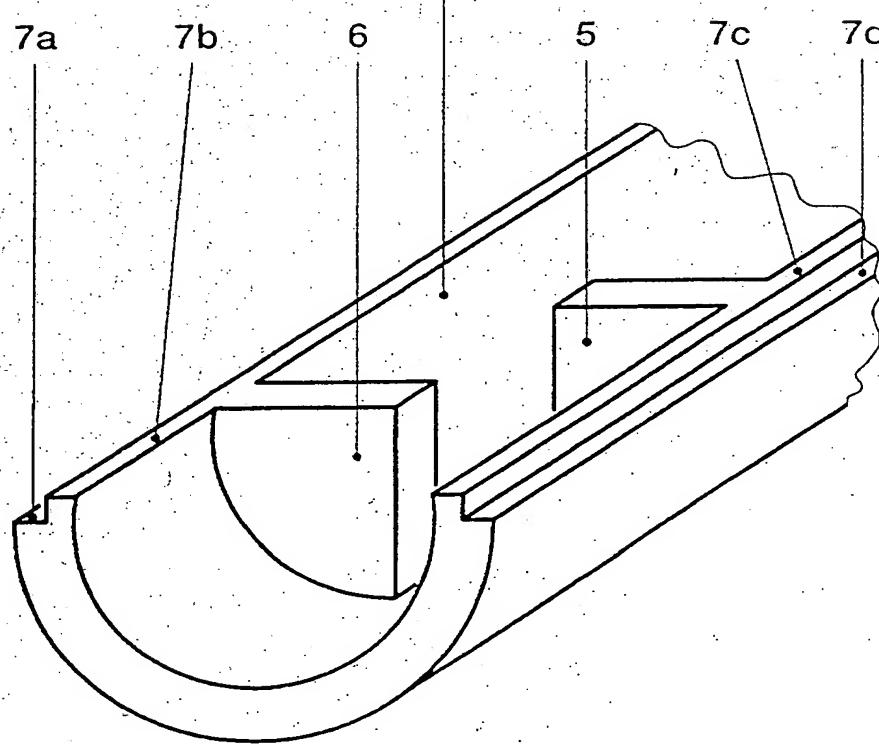


FIG. 4



## Method for the production of a moulding from a powder material

Patent Number: DE4322083

Publication date: 1995-01-12

Inventor(s): FRIED REINHARD (CH); ERNST PETER DR (CH)

Applicant(s): ABB RESEARCH LTD (CH)

Requested Patent: DE4322083

Application Number: DE19934322083 19930702

Priority Number(s): DE19934322083 19930702

IPC Classification: B22F3/16; B22F5/04

EC Classification: B22F3/10, B22F3/16

Equivalents:

### Abstract

This method for the production of a moulding from a powder material comprises the following steps: a) introduction of the powder material into a rough mould, b) compaction of the material by mechanical tapping, c) presintering of the blank in the rough mould, d) removal of the blank from the rough mould, e) machining of the blank and f) final sintering of the blank to give the definitive moulding. The fully sintered moulding no longer requires to be finished. In this method, the effect of shrinkage during final sintering is

kept small and this is advantageous.

Data supplied from the esp@cenet database - I2

DOCKET NO: SB-517  
SERIAL NO: \_\_\_\_\_  
APPLICANT: Günther Rose et al.  
LERNER AND GREENBERG P.A.  
P.O. BOX 2480  
HOLLYWOOD, FLORIDA 33022  
TEL. (954) 925-1100